

# 為何淬火及回火控制很重要

文/ Guy Avellon

**先**前我們討論過各種合金成分的鋼材化學特性，以及這些特性與溫度和含碳量之間的基本關係，以成形出理想的結晶結構來達到完成品所需的力學特性。但必須先將加熱過的鋼材冷卻，才能完成作業。

晶粒的大小取決於製鋼的慣常做法，它也是管控鋼材力學性質的重要要素。精細的奧氏體晶粒大致上會提升韌性、延展性和疲勞強度，但可能會減少可淬性。在低速或中速的冷卻速度下，碳原子得以從奧氏體結構擴散出去，變成體心立方。再進一步加速冷卻時，碳元素不會有足夠的時間從溶劑揮散，但因為碳原子被困在溶劑中，因此不會形成體心立方。最後會形成馬氏體結構，這是一種鐵質，其中某些碳原子會被困在體心正方的結構中。這種高度扭曲的晶格結構是麻氏鐵硬度高的最大主因。

將鐵材硬化的目的是要生成精細的晶粒狀且完全由麻氏鐵構成的顯微結構，因為它比奧氏鐵更硬。馬氏鐵是在冷卻時成形的。馬氏鐵僅由奧氏鐵在相對較低溫且幾乎瞬間的狀態下所構成。在馬氏鐵的形態下鋼材最高能達到多少硬度，只取決於含碳量。避免相變的任何軟質產物成形的最低冷卻率(每秒的華氏或攝氏度數)，稱為臨界冷卻率。臨界冷卻率取決於鋼材的化學成分、頂端淬火試驗和奧氏鐵的晶粒大小。這些因素會影響到為使鋼材生成純馬氏鐵而必需將鋼材冷卻的速度。鋼材冷卻的方式會決定其屬性。

在加熱和淬火任何鋼材之前，必須做頂端淬火試驗來確定其可淬性。此時的加熱槽數量就很重要，因為每個加熱槽都會有不同的合金和/或不同的化學成分比例，這些會影響到最終結果。頂端淬火試驗會決定鋼材加熱槽的可淬性。依標準做法熱處理並淬火產品後，會從深度0.015的淬火頂端開始每隔1/16”量測硬度。受測物件上的每個位置都代表某個冷卻率。每個鋼材和合金都有其冷卻的方針，稱為「時間-空間變化圖」。它也稱為恆溫相變化圖。圖1繪出了其細節。

圖中的X軸是呈對數增長的秒數。顯然地，鋼材冷卻至華氏1333度(攝氏723度)，從奧氏鐵變成麻氏鐵時，冷卻速度必須要非常快。若判斷錯時間，鋼材的結構就會變不一樣了。選擇的冷卻方式會決定鋼材的結構和屬性。熱處理和淬火的結合會精煉鋼材的結構，強化其物理特性。在淬火期間，帶帽螺絲的溫度可能會在2秒內被提高到超過變形的溫度，達到華氏600度(攝氏316度)。

SAE J429和幾項ASTM產品標準會指定對特殊合金做油淬，例如A354 BD和SAE等級8的帶帽螺絲，以及1/4”直徑到3/4”的A449帶帽螺絲。SAE J429標準允許對等級5和5.2的螺絲做水淬。直徑較大的A449扣件是可以做水淬的。淬火液的選擇取決於需散發熱能的多寡、帶帽螺絲直徑的橫切面積的作用，以及被淬火的鋼材。

油淬液一直都是用來控制與快速冷卻的首選媒介，但業界也有使用其他淬火媒介，而且經證實有效。例如熔鹽、聚合物溶液、鹽水和苛性鈉溶液為達成特定的結果，可望得到最大的淬火強度，讓鋼材不龜裂、扭曲或遭受過多應力以致使無法透過下一步的回火來解決。基於鋼材的高溫，淬火媒介必須受到控制，以持續提供最佳的結果。淬火之後，帶帽螺絲的拉伸強度和硬度常會超過最高級別。SAE J429標準要求回火之前螺絲的微結構要含約九成的馬氏鐵。淬火狀態下的硬度也會被記下來用以確認核心硬度。由於其硬度之高足以生成易脆斷的物質，所以帶帽螺絲必須透過回火這種追加的熱處理程序來將它軟化。

## 回火

回火是用來減輕初期熱硬化程序中累積的內部應力。回火與退火類似。退火是在螺絲製造的程序之前對原料鋼線進行的作業。馬氏鐵的成形非常困難而且它很容易脆斷，也會讓高度的應力殘留在鋼材中。因此硬化作業後必定會



接著做回火和伸線，其中包括把鋼材加熱到將近低臨界溫度。

回火是用於超硬化的馬氏鐵結構，讓帶帽螺絲比較不易脆斷，能更有延展性，並將馬氏鐵部分轉化為亞鐵鹽和碳化鐵以改善剛性。此處理作業也會增加鋼材的抗衝擊性，並降低拉伸強度至理想的程度。

在此熱處理的組合中，調質作業讓帶帽螺絲生成最終的硬度、安全荷載、降伏強度和拉伸強度等等物理特性。全馬氏鐵結構的鋼材未經回火會形成最高程度的降伏強度、延展性、疲勞強度和剛性。

某些高強度特殊螺絲被產製出來時，其鋼材質的化學成分會與ASTM、ISO或SAE標準所建議的不同。最基本的不同出現在回火程序中。除非使用了強化合金且有特別注意關照熱處理程序，否則拉伸強度和硬度高於標準規格的帶帽螺絲也較容易脆斷。不論選擇何種鋼材，熱處理作業正是為馬氏鐵結構含量達90-100%的扣件決定其最終特性的因素。經回火的馬氏鐵硬度使馬氏鐵能適用工具鋼，因為抗磨耗和抗變形的特性對工具鋼這類的用途來說很重要。工具鋼是機械零件和鍛造模具當中很常見的元件。經回火的含矽(silicon)鋼材是用來讓彈簧和其他零件即使被扭曲也不至於永久變形。

透過添加不同量的鉻、錳和鎳到馬氏鐵的鋼材中，就可製出抗腐蝕性非常強的400系列不鏽鋼產品、醫療儀器、餐具、滾珠軸承、閥、幫浦和熱交換器。加熱、冷卻和回火是一門很重要的藝術。

